

## Szerves és szervetlen kötésű foszforfrakciók a talajban

(Szakirodalmi összefoglalás)

Annak ellenére, hogy a növényi tápanyagok pótlására, illetőleg a talaj termőerejének fenntartására szolgáló műtrágyák közül legrégebben éppen a foszfortartalmú műtrágyák kerültek alkalmazásra, korántsem tekinthetjük tisztázottnak a talajhoz adagolt foszfor viselkedését és útját. A kérdésnek az ad nagy gyakorlati jelentőséget, hogy a legutóbbi évtizedekben végzett vizsgálatok megerősítették azt a korábbi felismerést, amely szerint a talajhoz adagolt trágyák foszfortartalmának legfeljebb 10—20 százalékát hasznosítják a növények, a többi pedig fel nem vehető alakot ölt. Ezt a tényt a radioaktív 32-es atomsúlyú foszforral legújabbban végzett kutatások ugyancsak megállapították. Bear szerint (21) a növények által felvett foszfor túlnyomó része nem a talajhoz adagolt trágyákból, hanem a talajban már jelen volt foszforvegyületekből ered.

Russel szerint (172) háromféle alakban kötött foszfor fordulhat elő a talajban: szervetlen, szerves kötésű és a talajjal együtt keletkezett állandó kötésben.

### I. Szervetlen foszforvegyületek

A szervetlen foszforvegyületek semleges vagy majdnem semleges talajokban kevés kalcium jelenlétében jobban oldható, sok kalcium esetében jóval nehezebben oldódó alakot öltenek. Bassett és több más kutató (15) a hidroxipatit ( $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$ )<sub>3</sub>.Ca(OH)<sub>2</sub> alakot tételezi fel, mint igen erős megkötési módot és azt az elvet vallja, hogy normális körülmények között a talaj foszfátjai általában hajlamosak a hidroxipatittá alakulásra. Lohse és Ruhnke (124) kiegészíti ezt azzal, hogy a talajban a hidroxipatit mellett a dikalciumfoszfát is a nehezebben változó foszforvegyületekhez sorolandó, mert benne a foszfor csak erős savak kalcium sójával képez oldhatatlan vegyületet. A monokalciumfoszfát viszont Cameron és Bell (45) szerint a talajban szabad foszorsav lehasadása esetében alakul át dikalciumfoszfáttá. Teakle (197) megállapítása, hogy lúgos reakció mellett a normális foszfátok bázisos foszfátokká alakulnak. Savanyú reakciójú talajokban a foszfátok vashoz és alumíniumhoz kapcsolódnak, főként akkor, ha a talaj nem tartalmaz elegendő meszet. Mészjelenlétében bizonyos bomlás áll elő a vas és alumínium

foszfátjaiban, a fémoxidok kiválnak és nehezebben bomló alakba megy át a foszfor.

Dean (60) a foszforkötés fogalmát egészen általánosítja és a foszfornak a talaj szilárd fázisához bármilyen módon való kapcsolódását minősíti foszforkötésnek. Szerinte a vulkáni alapkőzetekben apatit alakban van a P, az ásványi részekben pedig zárványként fordul elő. A talajkialakulás folyamata során a P a talajoldatba kerül, amikor vagy kötött foszforrá alakul, vagy a növények veszik fel s aztán mint növényi vagy állati maradvány kerül a talaj felszínére vissza. A talaj fejlődése folyamán tehát a P a feltalajrétegekben és az agyagfrakciókban halmozódik fel.

Hozzájárul a talaj foszforának átalakulási folyamatához az ember is, mint termelési tényező. Jelentős változások állanak elő a műtrágyák, illetőleg az istállótrágya hosszú, folyamatos alkalmazása mellett, akár több, akár kevesebb a P-utánpótlás, mint a talajból a növények által felvett P. Több kutató foglalkozott azzal a kérdéssel, vajon milyen talajalkotórészek tartanak vissza P-t. Fraps (79, 80) texasi talajokban határozott összefüggést talált a talajokból erős savakkal kivonható Fe és Al mennyisége és a talaj foszformegkötőképessége között. Gile (89), továbbá Scarseth és Tidmore (177) fordított arányt állapított meg a  $\text{SiO}_2$ : szeszkvioxid hányados és a talajkolloidok foszfátkötőképessége között. Megfigyelték, hogy a természetben előforduló oxidhidrátok (goethit, limonit, diaszpor, bauxit) a talajhoz hasonló foszfátkötőképességet mutatnak, viszont a hematitnak nincs meg ez a tulajdonsága. Kiegészíti a vas foszfátkötő szerepére vonatkozó kutatásokat az a megfigyelés, hogy a vasnak a talajból mesterségesen történő eltávolítása jelentősen, de nem teljesen csökkenti a talaj eredeti foszformegkötő képességét, tehát nem kizárólag a vastartalom függvénye a megkötőképesség.

Amikor a talaj érintkezik foszfátoldattal, valószínűleg többféle reakció állhat be. Bradford és társai szerint (38) három, egymással esetleg párhuzamosan is folyó mechanizmus lehetséges: 1) pH 2 és 5 közt a P megkötése a Fe és Al oxidok fokozatos oldódása következtében áll be, amikor a fémek foszfátjai újból kicsapódhatnak, 2/ pH 4,5 és 7,5 között a foszfátok

az agyagszemcsék felületén kötődnek meg, 3/ pH 6 és 10 között az esetleg jelenlévő kétértékű kationok csapják ki a foszfátokat. Gaarder és Graehl-Nielsen (84) részletesen megvizsgálta savanyútalajrendszerekben a P kicsapódásának körülményeit. Ha a Fe a foszforral ekvivalens mennyiségben reagál, a képződő vegyület oldhatósága pH 2 és 3 közt a legkisebb, de fölös Fe jelenlétében ez pH 4 felé tolódik el. Al és P reakciójakor pH 4 körül van a legrosszabb oldhatóság ekvivalens mennyiségű anyag cserebomlása esetében. Ha Al fölösleg van jelen, az oldhatóság minimuma pH 4 és 7 közé tolódik el. Kísérleteik eredményei szerint kétségtelennek látszik ugyan, hogy a talajokban vegyi kicsapás útján állnak elő a Fe és Al foszfátok, de sok bizonyíték van arra is, hogy ilyen vegyületek még sincsenek jelen a talajokban olyan jelentős mennyiségben, hogy a foszfát szervesen alakba lekötődését kellőképpen indokolják. Marais (135), Mc George és Breazeale (129) szerint a Fe és Al foszfátok növények által könnyebben felvehetők, mint a talaj kötött foszforának nagy része. Fennállhat az a feltevés is, hogy bázisos Fe és Al foszfátok csapódnak ki a talajokban. A dufrénit, egy természetes bázisos vasfoszfát pl. sok tekintetben úgy viselkedik, mint a talajokban megkötött szervesen foszfátok. A talajban képződés szempontjából tekintetbe vehető bázisos fémoszfátokról Haseman, Lehr és Smith (97) vizsgálatai nyújtanak tájékoztatást. Laboratóriumi körülmények között a ferriklorid és alumíniumklorid vizes oldataiban ortofoszforsavnak és más kationoknak különféle arányú és különböző hőfokon végzett adagolása és kezelése útján 150-féle készítményt állítottak elő, melyek túlnyomó része kristályos, jól definiált foszfátvegyület. A vegyületek 9 csoportra oszthatók, minden csoportban hasonló az egyes kristályok kristályformája s a legtöbb esetben a vas az alumíniummal, illetőleg az alumínium a vassal egymást izomorf módon helyettesítheti. A számos mesterséges foszfátvegyület között több olyan is akad, amely a talajban természetes körülmények között előállhat.

A szervesen kötésű foszforvegyületek egyszerű képződési módjának lehetősége ellen szólanak Bear és Toth kísérletei (19), amelyekben pl. egy talajról megállapították, hogy 100 g-kint 1,2 g  $P_2O_5$ -t tud megkötni. Hosszas dialízissel azonban ugyanebből a talajból csupán 5,6 mg Fe-t és 3,4 mg Al-t tudtak kioldani. Nehéz tehát elképzelni, hogy egyszerű Fe és Al foszfátképződés révén ez a talaj hogyan tud ilyen nagy mennyiségű foszfort megkötni. Metzger (138) 0,002 n-kénsavval távolította el a talaj Fe-tartalmát és erős csökkenést észlelt a talaj foszformegkötőképességében, ami az előbbi megfigyeléseknek ellentmond. Az előző feltevést támogatják azonban Coleman kísérletei (51), aki mont-

morillonitos és kaolinitos agyagot egy hónapig rázott híg sósav és ammóniumhidroxid különféle pH értékű keverékében. A savanyú oldatokban ugyan elég sok Fe és Al oldódott, de nem annyi, mint amennyi indokolta volna az agyagok teljes foszformegkötőképességét. Lehetséges, hogy a Fe és Al az oldatbemenéskor rögtön kicsapódik, ami elősegítené a talajkolloidból való fokozatos kioldódásukat. Low és Black (125) kaolinitoknak foszfátoldatokkal való kezelésekor megfigyelték a lebontódás mechanizmusát és eredményeikkel ezt a feltevést erősítik meg.

Mészartalmú talajrendszerekben — mint ezt már korábban említettük — nem kevésbé bonyolult a  $H_2O-CO_2-CaO-P_2O_5$  kvaterner rendszer viselkedésének mechanizmusa. Mc George és Breazeale szerint (129) meszes talajokban a csekély felvehetőségű foszfát egy karbonát-foszfatvegyület, amelyben 1 mol  $CaCO_3$  és 3 mol trikalciumfoszfát kapcsolódik egymáshoz. McIntire és Hatcher (131) véleménye, hogy a meszezett talajokba bevitt szuperfoszfát végeredményben a nyersfoszfáthoz hasonló tulajdonságú fluorfoszfátá alakul vissza. Ez az elmélet annyiban újszerű, hogy a műtrágyának *in situ* történő átalakulását tételezi fel anélkül, hogy a foszfát-ionok egyáltalában elhagynák a műtrágyaszemcséket, amivel szemben eddig inkább a felé a vélemény felé hajlottak a kutatók, hogy a foszfor kidiffundál a műtrágyából és úgy reagál a talajjal. Kísérleti bizonyítékként Nagelschmidt és Nixon (146) adataira hivatkoznak, akik Rothamsteadben 79 év óta megfigyelés, illetőleg rendszeres műtrágyázás alatt tartott parcellák talajmintáit vizsgálták. Olyan parcella talajában, amely évente rendszeresen kapott szuperfoszfátot, kimutatták, hogy 1. a foszfor a mészeszemcsék körül halmozódik fel; 2. a foszfortartalom a szemcsenagyság csökkenésével nő, és 3. a P és F tartalom az idővel együtt növekszik. A talajban néhol változatlan szemcselakban megmaradt szuperfoszfát darabkáiban Röntgen-vizsgálattal apatit jelenlétét állapították meg.

Cole és Jackson újabb vizsgálatai szerint (50/a) aránylag rosszabbul oldódó különleges vegyületek képződnek, amikor oldható foszfátokat adunk a talajhoz. Megállapították, hogy ezek a vegyületek vas-(III)-dihidroxildihidrogénfoszfátból (*strengitből*) és alumínium-dihidroxildihidrogénfoszfátból (*variszitből*), vagy a kettő izomorf keverékéből (*barranditből*) állanak.

Bass és Sieling (14) megállapították, hogy a talajból bizonyos kísérleti körülmények (hőfok, kezelési időtartam, stb.) betartása mellett híg citromsavoldattal kivonható vas és alumínium mennyisége egyenes arányban áll a talaj relatív foszfátmegkötő képességével.

Agyerikin (1) megvizsgálta, hogy a csernozjom híg foszfátoldatokból mennyi foszfátot

tud adszorbeálni eredeti állapotában és a talaj szerkezetének elroncsolása után. Megállapította, hogy az elroncsolás nagyon megnövelte a foszfát adszorpciót. A 0,2—0,3 mm-es aggregátfrakció-sávban az aggregátumok nagyságának növelésével az adszorbeált foszfát mennyisége csökkent. Tanulmányozta a talajok foszfátabszorbeáló képességét különféle növények esetében is. Azt találta, hogy a talaj foszfátabszorpciója lényegesen változik a természetű növény minősége szerint és még inkább a talajmintavétel időpontja szerint. Májustól augusztusig erősen csökkent a talajok által adszorbeált foszfor mennyisége s így feltehető, hogy a növények által felvett foszfor mennyisége növekedett.

Wiklander (209) ötféle szervetlen foszfátot különböztet meg a talajban: 1. a szabad talajoldatban lévő foszfát; 2. a talajrészecskék felületén adszorbeált kicsérélhető foszfát; 3. a talajrészecskék rétegében megkötött foszfát 4. a micelláris oldatban szabad sóként jelenlévő foszfát és 5. a Fe, Al és Ca foszfátjaként valamely oldhatatlan alakban kicsapódott foszfát. Megállapítása szerint a foszfát e különböző alakjainak viszonylagos mennyisége igen tág határok között változik a talajtulajdonságokkal, bár egyes alakjaik (pl. a 2,3 és 5) között tulajdonképpen nincsen éles különbség. Aktív Fe és Al-ban dús mészegény (pedalfer) talajokban az 1. csoport hajlamos arra, hogy gyors lefolyású reakcióban átalakuljon a 2. csoport szerinti alakba, a 4. csoport viszont lassú folyamattal változik át 3-má és 5-té. Semleges talajokból hiányzik az 5. csoport, inkább a 3. van jelen túlnyomó részben,  $\text{CaCO}_3$ -tartalmú talajokban a kicsérélődéses adszorpció és az Al és Fe foszfátjaiként való megkötődés jelentősége csekély jelentőségű, inkább többé-kevésbé oldhatatlan Ca foszfátok, mint dikalciumfoszfát, ortofoszfát, hidroxipatit, fluorapatit, képződnek.

McAuliffe és társai (126—128) radioaktív foszforral végzett kísérleteik eredményeként megerősítik az előbbieken ismertetett feltevés helyességét: hogy voltaképpen kétféle folyamat játszódik le, egy gyors kicsérélődési reakció és vele párhuzamosan egy lassú, másodlagos foszfátmegkötési folyamat. Vizsgálataik szerint a kicsérélődési reakció  $45^\circ$ -on jóval gyorsabb, mint  $20^\circ$ -on, ami azt igazolja, hogy a kötött foszfát felszabadulása kémiai reakció.

Barbier és Chabannes (8) ugyancsak két fázist különböztet meg a foszfátkötésben, az első a foszfátion kapcsolódása kicsérélhető kationokkal, főként kalciummal, (melyek az agyagfelületén helyezkednek el). E folyamat egyensúlya gyorsan beáll. A másik fázis a foszfát egyesülése a nem-kicsérélhető kationokkal, főként a vassal. Itt az egyensúly igen lassan áll be, esetleg csak hónapok múlva vagy évek alatt. Híg ásványi savval végzett kezeléssel

felszabadított foszfát az első fázisban kötődik meg, míg lúggal felszabadított foszfát viszont a másodikban. Az első fázis csak tiszta agyag-ásványokban (pl. kaolinit, montmorillonit) fordul elő, a második pedig a talaj agyagjaira jellemző.

## 2. Szerves foszforvegyületek

A talaj szerves foszforvegyületeinek létezésére először Mulder (143) mutatott rá 1844-ben, de csupán közvetett módon, amennyiben bizonyos szerves talajfrakciókból nem tudott teljesen foszfortól mentes készítményeket előállítani. Grandeau (95) szoros összefüggést állapított meg az általa vizsgált talajok ammóniumhidroxidban oldható alkotórészei, elsősorban a foszfor mennyisége, és a terméseredmények között. Azt a feltevést dolgozta ki, hogy az orosz csernozjom huzamos ideig megmaradó termékenységet elsősorban a szervesanyagok a különböző ásványi alkotórészekkel képezett vegyületei okozzák. Azóta igen számosan foglalkoztak, különösen az utóbbi években a talaj szerves kötésű foszforvegyületeivel és a növénytáplálkozásban játszott szerepükkel. Pierre és Parker (164) szerint a növények a talaj vizes kivonatában lévő szerves kötésű foszfort közvetlenül nem használják fel. Bower (37) megállapította, hogy a talaj szerves foszfortartalma mineralizáción mehet át. Thompson és Black (199), valamint Thompson (200) szerint határozott összefüggés áll fenn a talaj szerves anyagának lebontása közben mineralizált szerves foszfor, nitrogén és szén mennyisége között. Ezzel kapcsolatban hangoztatják, hogy a talaj szerves nitrogéntartalmának ma már általánosan elfogadott elvnek tekinthető analógiájára a talaj szerves kötésű foszfortartalmának fontosságát is be kell látni. Pierre (163) részletesen foglalkozott a foszfor körforgalmának kérdésével és megerősíti, hogy a talaj szerves kötésű foszfortartalma igen jelentős szerepet játszhat a növénytáplálkozásban.

A kutatók legnagyobb része meggyezik abban a véleményben, hogy a talaj szerves kötésű foszforvegyületei — miként a növényekben lévő ily vegyületek — három fő csoportba oszthatók: nukleinsavakra, fitinre és fitin-származékokra, valamint foszfatidokra.

A nukleinsavak — melyek fehérjékkel kapcsolódva nukleoproteineket alkotnak — a sejteknek fontos alkotó elemei. Rendszerint egy purin vagy pirimidin bázisból, valamint szénhidráttól és foszforsavból vannak felépítve. A nukleinsavak lúgokkal különféle sókat képezhetnek. Savanyú közegben némi bázisos tulajdonságokat mutatnak, ami a purin és pirimidin bázisok jelenlétének tulajdonítható.

A fitin a hat hidroxilgyököt tartalmazó inozitból ugyancsak hat mol foszforsavnak bekapcsolódása útján áll elő. A növényekben, főként a magvakban, jelentős mennyiségben

fordul elő. A fitáz nevű enzim a fitint defoszforizálni képes, minek eredményeként különféle, részleges foszformentesítésen átesett származékok állhatnak elő (pl. inozit-trifoszfát, inozit-monofoszfát).

A foszfatidok (foszfo-lipoidok, mint pl. a lecitin) a sejtek lényeges alkotórészei ugyan, de a talajban aránylag igen csekély mennyiségben vannak csak jelen. A talajban a lecitin jelenlétét először Aso (4) majd Stoklasa mutatta ki (193).

A talaj humuszából Shorey (184) nukleinsavat tudott elkülöníteni, később Bottomley tőzgeből választotta el a nukleinsavat (33). Több kutató állapította meg a talajban a kolinak (a lecitin bomlástermékének) és az inozitnak (a fitin lebontási termékének) jelenlétét: Auten (7), Dumont (67), Gortner és Shaw (93), Kurszatov (118, 119), Marel (136), Schreiner (182).

Az ismertetett háromféle csoportba sorolható szerves foszforvegyületek közül nagyságrendben legkisebb jelentőségű a foszfatidok csoportja, amelyből a talajok összes szerves kötött foszforának 1% alatti hányada szokott előfordulni. Aránylag legnagyobb mennyiségben található a nukleinsavszármazékokhoz kötött foszforvegyületek. Ezekből több kutató egybehangzó megállapítása szerint [Karpinszki és Zamjatina (110), Kurszatov (119), Wrenshall és McKibbin (212)] a talaj összes szerves kötött foszfortartalmának 50—65 %-a kerül ki.

Említést érdemelnek a talaj szerves foszforvegyületeivel kapcsolatosan Chaminade (46) kutatásai, aki talajokból semleges normál ammóniumsóval kimosta a humusz kolloid részét és megállapította, hogy az általa előírt körülmények között ilyen módon kimosott humusz, ha semleges talajokból ered, akkor jelentős mennyiségű foszfátot tartalmaz, ha azonban savanyú talajokból mosódott ki, akkor igen kevés benne a foszfor. Ha a humuszt a kimosás előtt a talaj kiűzítése vagy  $H_2O_2$ -vel végzett kezelése útján elroncsolta, jóval kevesebb P volt a kimosott anyagban, ami azt igazolja, hogy a P-tartalom nem az ammóniumsó hatására mosódott ki a talaj szervesen kötött foszforából, hanem a humátkomplexből származik. Szerintem az az utóbbi nem szerves kötésben, hanem adszorpciós komplexben van a humuszhoz kapcsolva, kötött Ca ionok közvetítésével. A közeg enyhe megsavanyítása a foszfát-humusz komplexet disszociálja. Ha viszont a talaj savanyúsága 5,5 pH-nál nagyobb, nem képződik ilyen komplex. Chaminade véleménye szerint e komplexek változó mennyiségű P-t tartalmaznak és a talajhoz adagolt műtrágyából még több ásványi vagy szervesen kötött P-t vehetnek fel, ezeket azonban leadják a növény gyökérzetének. A humátkomplexek P tartalma könnyebben felvehető, mint a  $CaHPO_4$ -

és a talajban a felvehető P tartaléktömegeként szerepel, mert ellenáll annak a folyamatnak, amelynek során a talaj felvehető foszforkészlete fel nem vehető alakba megy át. Ezzel a tevékenységével a humátkomplexnek az a feladata, hogy a növényi tápanyagkészletet állandó szinten tartsa. Az agyag gátolja a humátkomplexnek ezt a működését, amennyiben a foszfor adszorbeálásával csökkenteni igyekszik a talajoldat P-tartalmát. Chaminade egy másik dolgozatában (47) kimutatja, hogy — ha kalciumfoszfátot kalciumhumát jelenlétében csapnak ki, — olyan vegyület képződik, amely humátot és foszfátot tartalmaz. Azok a körülmények, amelyek között e vegyület képződése lehetséges, gyakran előfordulhatnak lúgos talajokban. E vegyületek olyan pH értékeken alkotnak vizes diszperziót, amelyekben a kalciumfoszfátok csaknem teljesen oldatatlanok, pl. 8,0-nál kisebb pH értéken egy centrifugált foszfát-humát oldatnak  $P_2O_5$ -tartalma 5 g/l-nél több volt. A foszfát humát diszperzoid stabilitása csökken, ha a foszfát-tartalom nagyobb, mint a huminsav-tartalomnak 50%-a. Ha a foszfát-humát komplexben a foszfát aránya 3 vagy ennél több foszfát 2 huminsavra, akkor nem diszpergálható. A diszpergált foszfát-humát komplexek a szűrőkön, valamint ultraszűrőkön egyaránt átmennek. Neubauer-féle kísérletek eredménye szerint a foszfát-humát komplexek foszfátja könnyebben felvehető, mint a trikalciumfoszfát foszfátja.

Burd szerint (43) tőzegtalajokban a szerves foszfátok háromféle alakban találhatóak: 1. foszforilált szénhidrátok, 2. a növényekben előforduló fitinhez hasonló típusú észterek, 3. fehérjékhez kötött foszfor. Az első csoportba tartozó vegyületeket a fejlődő növény közvetlenül tudja abszorbeálni, de aránylag csekély ezekből a rendelkezésre álló mennyiség. Az ilyen komplexek ugyanis annyira instabilok és enzimek hatására olyan könnyen hidrolizálhatók, hogy valószínűleg csak átmenetileg fordulhatnak elő a talajban. A második csoport annyiban lehet forrása a foszfát ionnak, amennyiben az enzimatikus következtében beálló progresszív hidrolízis folytán valóban rendelkezésre állnak a növénynek ezek az ionok. A harmadik csoport a fehérje-komplexek progresszív oxidációja folytán valószínűleg a fő foszfor-forrása a talajrendszernek. Minthogy azonban ezek a komplexek aránylag stabilok, a foszfor-nak ebből a kötésből való felszabadulása lassan megy végbe.

Eid, Black és Kempthorne (71) 17 különböző savanyúságú talajmintával tenyészedénykísérletekben vizsgálták a különféle foszforfrakciók clozslását és annak változásait. Megállapították, hogy kisebb talaj hőfokon ( $20^\circ C$ ) a talaj foszfortartalmának felvehetőségét jóformán egyedül csak a szervesen foszforfrakció mennyisége határozza meg. Bizonyos összefüggés mu-



atkozott ugyan a szervesetlen foszforfrakció és a brómmal hidrolizálható szerves P-frakció mennyisége között, ami arra utal, hogy kis mértékben ez az utóbbi is befolyásolja a felvehető foszfor mennyiséget, de ez gyakorlatilag elenyészőnek tekinthető. Nagyobb talajhőfokon (35° C) azonban mind a szervesetlen, mind a szerves foszforfrakció szignifikánsan összefügg a növények által felvehető foszfor mennyiségével. Az utóbbi frakciónak változása ilyenkor inkább a szerves frakció számszerű értékeivel mutat bizonyos összefüggést, mint a szervesetlen foszforfrakció értékeivel. Ezt azzal magyarázzák, hogy nagyobb talajhőfokon a szerves foszfor mineralizációja lényegesen gyorsabb, mint kisebb hőfokon, különösen a foszforban dúsabb talajok esetében. Feltételezik azt is, hogy a talaj oldható szervesetlen foszfortartalmának szintje oly módon marad állandó, hogy a talaj szerves foszforából fokozatosan mineralizálódó foszfor egészíti ki a veszteségeket. Lehetségesnek tartják azonban azt is, hogy a szerves foszfor-frakció által okozott látszólagos hatás a szervesetlen foszfor kivonására használt módszerek tökéletlensége folytán mutatkozik. Ezért azt javasolják, hogy a felvehető foszforsav megállapítására szolgáló kémiai módszerek pontosságának növelése céljából egészítsék ki a szervesetlen foszfor mérésére eddig alkalmazott eljárásokat a megfelelő olyan módszerekkel, amelyek a szerves foszforfrakciók megállapítását is lehetővé teszik.

A foszfor felszabadulásának sebessége a talajban lefolyó biológiai oxidációs folyamatok intenzitásától függ. A fehérjekomplexből felszabaduló foszfát ion a felszabadulás pillanatában a növények által még közvetlenül felvehető. Ha azonban a növény nem veszi fel, akkor a foszfát ion a talajoldatban lévő kalcium aránylagosan nagy töménysége folytán azonnal átalakul oldhatatlan kalciumfoszfáttá s így immobilizálódik. Burd véleménye az, (43) hogy a talajrendszer folyékony fázisában lévő foszfát-nak töménysége elsősorban attól függ, mekkora a talajoldatban a kalcium töménysége.

A nukleinsavakhoz kötött foszforvegyületeknek mint a talaj szerves foszfortartalma jelentős tévezőjének szerepét érdekesen világítják meg Fries vizsgálatai (81). Különböző fajta fák leveleiben a levél fejlődésétől a lehullásig tanulmányozta a foszfor és nukleinsavtartalom változását és megállapította, hogy az őszi levélhullást megelőzően a levélben a foszforvegyületek bizonyos mértékben átrendeződnek. Az átalakulás folyamán a szerves kötésű, de oldhatatlan foszfor vízben vagy gyenge savakban oldható alakot ölt. A levelek eredeti nukleinsavtartalmának csupán 20-40 %-a, a lipid-foszfortartalomnak 30-40%-a maradt meg. Ez a maradvány azt jelenti azonban, hogy a levelekkel a talajba jutó nukleinsav mennyisége négyzetméterenként évente több száz milligrammot tehet ki a lombdőlésben.

Kétségtelen, hogy a szántóföldi növénytermesztésben ugyancsak jelentős szerep juthat a talajba visszakerülő növényi maradványok foszfortartalmának.

A fitinsavhoz kötött foszforvegyületek viselkedésével részletesen foglalkozott Bower (37). Ha a talajhoz fitát vagy szervesetlen ortofoszfát alakjában adagolt oldható foszfort, különbséget állapított meg a kétféle kötésű foszfor immobilizálóságában. Híg savakkal végzett kilúgozással szemben a fitát-foszfor jóval ellenállóbbnak bizonyult, mint a szervesetlen kötött. Jackman és Black vizsgálatai szerint (105) a fitát alakú foszfor (különböző inozitfoszfátok) a vassal, alumíniummal, kalciummal és magnéziummal igen rosszul oldódó vegyületeket alkotnak, melyek oldhatósága csekélyebb, mint a megfelelő foszfátvegyületeké. Valószínűnek tartják, hogy a talaj fitátjainak csekély oldhatósága az oka annak, hogy a talajokban tartósan jelen van tekintélyes mennyiségű fitáthoz kötött foszfor. Kimutatták továbbá, hogy a talajban lévő fitáz a talaj fitátjait oldhatóságtól függő mértékben tudja hidrolizálni. Kísérleteikben határozott különbséget észleltek a talajhoz mesterségesen adagolt fitát-foszfor-nak, illetőleg a talaj eredeti szerves foszfortartalmának fitázkészítménnyel való lebontásakor, amennyiben az utóbbi alig mutatott bomlást.

Dalton és munkatársai (54) a kötött foszfor felvehetőségének, valamint a nyers foszfát felvehetőségének összefüggését vizsgálták a talaj szervesanyag-tartalmával. Adataik alapján kísérletileg igazolták, hogy a talajfoszfát-tartalmának felvehető alakba való átalakulását. A talajhoz szerves anyaggal együtt adagolt foszfátnak növénykísérletekben nagyobb volt a felvehetősége, mint a szerves anyag nélkül alkalmazott foszfáté. Bizonyos szerves anyagok (főként a szerves hidroxisavak és más vegyületek, amelyek vassal és alumíniummal stabil komplex molekulákat alkotnak) fel tudják szabadítani a kötött foszfátokat, mint ezt Struthers (194) és Swenson (196), kimutatták. Ha már most kiegészítjük ezt azzal, hogy Waksman (206—207) és mások megállapítása szerint a talajok szérhidrát anyagainak mikroorganizmusok által előidézett oxidálásakor éppen ilyen vegyületek képződnek (borkósav, oxálsav, citromsav, almasav, malonsav, galakturonsav, stb.) világosnak látszik az összefüggés a talajban lejátszódó biológiai folyamatok és a fel nem vehető kötésben lévő foszfor felvehető vegyületekké való átalakulása között. Gerretsen (86) ezt úgy igyekezett bizonyítani, hogy steril kultúrákban termesztett növények által oldhatatlan ásványokból felvett foszfor mennyiségét összehasonlította mikroorganizmusokat tartalmazó azonos kultúrákban termesztett növények által felvett foszfor mennyiségével. A steril kultúrákban a felvétel

elenyészően csekélynek mutatkozott. A könnyen bomló szerves anyag tehát Dalton (54) szerint a talaj szerves foszfátjait hatásosan tudja felvehető vegyületekké átalakítani. A folyamat mechanizmusa valószínűleg az, hogy a mikrobiológiai lebontás bizonyos anyagcseretermékai a savanyú talajokban a foszfátnak fel nem vehető alakban való megkötését előidéző vassal és alumíniummal stabil komplex molekulákat alkotnak. A növények számára felvehető alakba hozott foszfor képződésének legfontosabb tényezője a rizoszférában működő mikroorganizmusok intenzív élettevékenysége. Egyes esetekben talajhoz adagolt foszformentes szerves anyagokkal a növényeknek a talajból való foszforfelvételt ugyanúgy lehetett növelni, mint a foszfortartalmú műtrágyák adagolása révén a talajba vitt oldható foszfor alkalmazásával. Megfelelő szerves anyag egyidejű adagolásakor a nyers foszfátból feleannyi  $P_2O_5$  vált a növények számára ténylegesen felvehetővé, mint az oldható foszfátokból.

Thompson és Black (199) tenyészedény-kísérleteket végeztek annak eldöntésére, vajjon a talaj szerves kötésű foszfortartalma inaktív-e, illetőleg résztvesz-e a talajnak felvehető foszforral való ellátásában. Megállapították hogy a szerves kötésű foszfor nem inaktív és a foszfor mineralizálódásának aránya a nitrogén és szén mineralizálódásához arányához azt mutatja, hogy a talaj szerves anyagainak elbomlásakor mind a három alkotórész felszabadul az erősebben megkötött alakú vegyületekből. A nitrogén mineralizálódásának a foszfor mineralizálódásához való aránya nagyjában megfelel a talaj szerves anyagában a nitrogénnek a foszforhoz való arányának, ami 10 : 1 súlyrész körül mozog. Amint a talaj szerves anyaga fokozatosan elbomlik, a bomlás előrehaladtával a nitrogén és foszfor szerves kötésű alakjai egyre jobban ellentállóvá válnak a mineralizálódással szemben. Mind a nitrogénnek, mind a foszfornak mineralizálódási mértékét kisebbnek találták a megművelt talajokban, mint a feltöretlen talajokban.

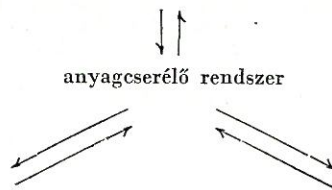
Goring és Bartholomew (91) kaolinitnak és bentonitnak hatását vizsgálták vegyes mikroorganizmus-szövetek szerves foszforvegyületeinek lebontására. (*Aerobacter aerogenes*, *Bacillus subtilis*, *Rhizobium* sp.). A defoszforilálást az anyagok növekvő adagjai csökkentették, a szerves kötésű foszfornak majdnem teljes mértékű kioldhatóságát azonban alig befolyásolták. Növekvő agyag adagok esetében a kioldott, nukleinsavhoz kötött foszfor mennyisége nőtt, a savban oldódó szerves kötésű foszforok és a lipid foszforok mennyisége csökkent.

Mortland és Gieseking (141) részletesen tanulmányozta az agyagoknak és agyagásványoknak a talaj különféle szerves foszfortartalmú vegyületei hidrolízisére gyakorolt befolyását. Fitázzal, fruktózdifoszfáttal, glicerofosz-

fátázzal és lecitinázzal végzett kísérleteik eredménye szerint az agyagok határozottan gátolják a szerves foszforvegyületek enzimes hidrolízisét. A gátlás erősségének sorrendje: bentonit (montmorillonit), illit, kaolinit. A gátlás mértéke arányos az agyag báziskicserélő képességével, ami arra utal, hogy az enzimeket legalább is részben, mint kationokat adszorbeálja az agyag. Megállapításuk szerint a gátlást nem a szerves foszforvegyületnek az agyagon való adszorpciója okozza, hanem az agyagnak az enzimekre gyakorolt hatásával magyarázható. Valószínűnek tartják, hogy a szerves foszforvegyületek bizonyos mértékű mineralizálódását azok a hidrolizáló képességgel rendelkező endocelluláris foszfátázok okozzák, amelyek az élő vagy elhalt szervezetek sejtjeinek falain át tudnak diffundálni. A képződő szerves foszfátok egy része azután a sejt falon át visszadiffundál a talajoldatba vagy az élő szervezetek anyagcseréjében kerül felhasználásra.

Johnson és Broadbent (107) a talajban a foszforvegyületek körforgalmát úgy képzei el, hogy a szerves kötésű foszforvegyületekből és mikroorganizmusokból egy feltételezett anyagcserélő rendszer (metabolic pool) veszi fel a mineralizálódott foszfort. Ebből a forrásból táplálkozik a magasabbrendű növényzet és innen veszik fel a foszfort azok a vegyületek is, amelyek kémiaiilag kötik meg a foszfort. A közepén álló anyagcserélő rendszernek a három csoport felé reverzibilis a tevékenysége, egyidejűleg és egymással párhuzamosan történik a foszforvegyületek felvétele és leadása az alábbi módon:

szerves vegyületek és mikroorganizmusok



kémiai megkötés magasabbrendű növények

Hogy adott talaj esetében a rendszer milyen irányban fog működni, az a körülmények függvénye. Feltételezett rendszerük működését radioaktív foszforvegyületekkel talajokban végzett vizsgálatokkal igyekeztek bizonyítani.

A 32-es atomsúlyú radioaktív foszfor alkalmazásának lehetősége nagy távlatokat nyitott a foszfor útjának kutatása számára. Ennek ellenére bizonyos óvatosság ajánlatos az ilyen kísérletek eredményeivel szemben. Russe I és munkatársai (173), valamint több más kutató is megállapította, hogy a radioaktív foszforral végzett kísérletek adatait bizonyos mértékben bizonytalaná teszi a radioaktív sugárzás által a magasabbrendű növények növekedésében és fejlődésében

előidézett gátlás, illetőleg károsodás. Az alkalmazott adagok nagysága tehát a károsodást előidéző mérték alatt kell, hogy maradjon. Goring és Clark (92) vizsgálatai szerint az eddig a kutatók által ilyen fajta kísérletekben alkalmazott 32-es foszfor-adagok a kísérleti körülmények között észrevehetőleg nem befolyásolják a különböző mikroorganizmusok élettevékenységét. Blume és munkatársai (29a) tápoldatokban termesztett árpa fejlődésének vizsgálata során megállapították, hogy a növény zöld részeiben a radioaktív foszfort tartalmazó anyag nagyobb károkat okoz, mint a gyökérrészekben. Főként a gyors sejtosztás zónáiban felgyülemelő 32-es foszfor kisugárzása okoz károsodást. A károsodást előidéző legkisebb adag Blume tanulmányai szerint az, amikor 1 mg 31-es atomsúlyú foszforra 0,00245 mg 32-es foszfor jut. Újabb dolgozatában Blume (30) megerősíti, hogy a növénytermesztési vizsgálatokban általában alkalmazott adagokban a 32-es foszfor sugárzása által okozott károsodás a kísérleti eredményeket nem befolyásolja észrevehetően. Larsen (121) 32-es foszforral nyomjelzett foszforsavval kalcium-karbonáttól előállított kalciumfoszfáttal trágyázott talajban termesztett árpát vizsgált tenyészedénykísérleteiben és megállapította, hogy 7 hét után az eredeti talaj kicserélhető foszfortartalma meghatározható a műtrágya és a növény foszfortartalmában a 32-es foszfor arányának ismerete alapján. Gourley (94) kísérletei megerősítették azt a feltevést, hogy a 32-es atomsúlyú radioaktív foszforral nyomjelzett foszfátok a szerves észterek foszfátjaival nem lépnek egyszerű kicserélődési reakcióba, hanem kizárólag anyagszere reakciók eredményeként kivetkezhetik be a kicserélődésük. Ezt glükóz-1-foszfáttal, adenilsavval, 2,3-difoszfoglicerinsavval és adenzin trifoszfáttal végzett vizsgálatokkal igazolta.

Jordan és munkatársai (108) radioaktív foszforral nyomjelzett szuperfoszfáttal végzett kísérletekben igyekeztek a műtrágya foszforának útját követni. Növényházi tenyészedényekben burgonyán vizsgálták a műtrágya foszforának felvételét. A fejlődés 42-ik napján volt a burgonyalevél foszfortartalma alapján a műtrágya foszforából való foszforfelvétel százalékos mennyisége a legnagyobb. A talaj nedvességtartalma észrevehetően befolyásolta a foszforfelvételt, kisebb nedvességtartalom mellett a burgonyanövény több foszfort vett fel a talajból és a műtrágyából, mint nagyobb nedvességtartalomnál. A szuperfoszfáttal kezelt talajból a növény több talaj-foszfort tudott felvenni, mint a kezeletlen talajból. Sortrágyázás esetében a növény a fejlődési stádium kezdetén több foszfort tudott hasznosítani, mint a szórt szuperfoszfáttól. Ha azonban a növények már 15—30 cm magasságot értek, akkor a szórt szuperfoszfáttól több foszfort tudnak hasznosítani mint sortrágyázás esetében. Az

öntözés intenzitása jelentősen befolyásolta a műtrágyából eredő foszfornak lefelé hatolását a talajban. Minél nagyobb volt az öntözővíz mennyisége, annál erőteljesebben haladt lefelé a műtrágyából eredő foszfor. A burgonyagumók által a műtrágya foszforából hasznosított foszfor százalékos aránya 6—7% volt, szórt szuperfoszfát esetében valamivel nagyobb mutatóval, mint sortrágyázáskor.

### 3. Módszerek a talaj szerves foszfortartalmának meghatározására

Régebbi közleményekben a kutatók általában a kezdetleges «különségi» eljárással határozták meg a talaj úgyszólván «bruttó» szerves foszforvegyületeinek mennyiségét. Ennek lényege, hogy a talajmintából bizonyos oldószerekkel kivonják a foszforvegyületeket és a kivonatban valamelyik ismert módszerrel megállapítják a P-tartalmat. Azután a talajminta másik részletét vörösízzáson kihevítik, vagy tömény  $H_2O_2$  oldattal elroncsolják és a szerves foszforvegyületeknek eközben beállt lebontása után újból kivonják a foszforvegyületeket. Ez utóbbi adja a talaj «összes» foszfortartalmát, melyből az előbbi (a szerves P-t) levonva, megkapják a feltételezett «szerves» kötésű P mennyiséget. Ez az eljárás természetesen csak nyers összehasonlító vizsgálatok céljára alkalmas. Az egyes szerves foszforfrakciók elválasztására más módszereket kell használni.

Bartholomew és Goring (13) Aerogenes-tenyészetek foszforfrakcióit a következőképpen különítették el. 1. Az anyagból vizes szuszpenziót készítettek, ezt centrifugálták, majd a folyadék tisztájából meghatározták a vízben oldódó szerves és szerves foszfort Dickmann és Bray módszerével (63). 2. A centrifugacsőben maradt anyagot lehűtötték, hideg 10%-os triklórecetsavval több ízben kivonták a savban oldódó szerves és szerves foszfort és az 1. szerinti eljárással meghatározták a mennyiségüket. 3. A maradékot 3:1 arányú etanol-éter keverékkel több ízben kezelve, kivonták a foszfátidokat és a kivonatban meghatározták a mennyiségüket. 4. A maradékhoz híg káliumot adtak, hogy a foszforproteineket kivonják, a kivonatot különböző fogásokkal választják el s így külön megkapják a szerves és szerves P-tartalmat, továbbá a ribonukleinsavakhoz, illetőleg fehérjékhez kötött P mennyiséget. 5. A maradékban meghatározzák a csekély mennyiségű maradvány P-t.

McAuliffe és Pe ech (127) először kezelik a talajmintát 3:1 arányú etanol-éter eleggyel és az oldószer eltávolítása után a kovasavból mentesített oldatban meghatározzák a foszfátok (foszfolipoidok) mennyiségét. A kivonási maradékot 5%-os triklórecetsavval kezelik, a kapott kivonat tartalmazza az összes szerves foszfort és a szerves foszforvegyületek egy részét. A kivonat egyik részét kihevítés után megvizs



gált és megállapították összes P-tartalmát. A kivonat másik részét aktív szénnel rázták és megállapították, hogy az aktív szén csak a szerves foszfort és az esetleges szinezőanyagokat nyeli el, tehát a kivonat leszűrése után az oldatból a savban oldódó szerves P mennyisége, az aktív szén kiiztítása után pedig a szerves P mennyisége határozható meg. A triklórecetsavas kivonat maradványát magnéziumnitrát adagolása után kiiztították és a hamuból a szokásos módon határozták meg a fehérjékhez kötött P mennyiségét.

Bartolomew és Goring, valamint McAuliffe és Pech fent vázlatosan ismertetett módszerét az Agrokémiai Kutató Intézetben Sarkadi és Kornis (175) kipróbálta és megállapította, hogy istállótrágyák foszforfrakcióinak összehasonlító vizsgálatára mindkettő alkalmasnak látszik.

Hazai viszonyok között az istállótrágya szerves foszforfrakcióinak vizsgálata és mennyiségi aránya különösen a nyersfoszfátos erjesztéssel kapcsolatosan és az erjesztés folyamán beálló foszforforgalmi változások megfigyelésével összefüggésben mutatkozik érdekesnek, azért az alábbiakban röviden ismertetjük a hozzáférhető szakirodalom ilyen vonatkozású adatait is.

Kaila finn kutató (109) istállótrágyák P-frakcióit a következő oldószerekkel választotta szét. 1. forró etanol (foszfátid-P), 2. desztillált víz szobahőfokon (szerves P és a szerves P egy része), 3. 0,5 n sósav szobahőfokon (fitin-P) 4. a maradvány tartalmazza a nukleinsavakhoz kötött P-t. Az egyes frakciók P-tartalmára külön eljárást dolgozott ki, amely lényegében a Denigés-módszer módosított alakja. Eljárásával nagy számú finn istállótrágyamintát vizsgált 1930 és 1947 közti időszak alatt. A minták átlagos P-tartalmát 0,19%-nak találta, a szélső P értékek 0,09 és 0,47% voltak. A trágyában lévő összes foszforok friss lótrágya és sertés trágya esetében 65 és 75% között váltakozó hányada volt szerves P-kötésben, míg kérődző állatok trágyájában a szerves P-kötésű foszfor hányada 35 és 55% között, a csirke-trágyában pedig 40% körül mozog. Kaila megállapítása szerint az istállótrágya erjedése folyamán a szerves P-kötésű foszforvegyületekben bekövetkező mineralizáció mértéke a mikroorganizmusok által felvehető C-tartalom és a szerves P-kötésű foszfor arányától függ, a kritikus érték kb. 0,2% P a szárazanyagban. Élettani foszfor-retenció csak lótrágyában vagy sok szalmával kevert másfajta trágyában lett volna várható, de még ilyen esetekben is az erjesztés első hónapjaiban a mineralizáció dominált a szerves P-kötésű foszfor visszatartása vagy reszintézise felett. Kaila észlelései szerint a trágyához adagolt szuperfoszfátmútrágya foszforából az erjedés alatt csupán igen kis mennyiség alakul át szerves P-kötésű foszforra. Anaerob erjedés kedvez a P mineralizációnak. Kaila megvizs-

gált 30 különböző, erjesztett istállótrágyát is. Azt találta, hogy az összes foszforok 30—72 (átlagértékben 59)%-a volt szerves P-kötésben, 25%-a volt nukleinsavakhoz kötött P alakjában, 12%-a volt foszfátid P-alakjában, 10—20%-a volt oldható szerves P és foszfátid P-alakjában. A csirke-trágyában még 20—28 volt a fitin-P mennyisége.

McAuliffe és Pech (127) bárányokkal és juhokkal végezték olyan takarmányozási kísérleteket, amelyekben radioaktív (32-es atomsúlyú) P-t tartalmazó káliumdihidrogénfoszfátot adagoltak közvetve a takarmányhoz, illetőleg az érlelés alatt álló trágyához és vizsgálták a nyomjelzett szerves P mozgását az egyes frakciók között. A juhtrágyában a szerves P-kötésű foszfor mennyiségét 81,5—92,4%-nak, a lipoidokhoz kötött P hányadát 0,14—34%-nak, a fehérjékhez kötött P mennyiségét 5,4—12,8%-nak, a triklórecetsavban oldódó szerves P-tartalmat pedig 1,59—3,10%-nak találták. Tehéntrágyában a szerves P-kötésű foszfor hányada az összes P-tartalomnak 50,3, a lipoidhoz kötött szerves P 0,74, a fehérjékhez kötött P 32,5%, a triklórecetsavban oldódó P mennyisége pedig 9,40% volt. A trágya összes P-tartalmát juhtrágya esetében 0,98—2,06%-nak, tehéntrágya esetében 0,47%-nak találták. Kísérleti eredményeik közül említésre érdemes, hiszen a nyomjelzett káliumdihidrogénfoszfáttal kezelt takarmánnyal etetett juhok trágyájában a szerves P-kötésű P-nek 84—90%-a volt nyomjelzett. A nyomjelzett káliumfoszfáttal érlelt juhtrágya különféle szerves P-kötésű frakcióiban a nyomjelzett frakciók mennyisége 43 és 94% közt váltakozott.

Eid, Black és Kempthorne (71) talajmintákban a szerves P-kötésű foszfort Bray és Kurtz (40) módszerével határozzák meg. A szerves P-kötésű foszfort három frakcióra bontják. Először 1%-os káliumkarbonát oldattal főzik a talajt, majd brómvízzel forralják. Ez adja a kálium karbonátban oldható és brómmal hidrolizálható szerves P-kötésű foszfort. A káliumkarbonátban oldható és brómmal nem hidrolizálható szerves foszfor a második frakció, a harmadik pedig a talajban még megmaradt rész, mely nem oldódik káliumkarbonátban. Káliumkarbonátnak a talaj foszfortartalmának kivonására való alkalmazását Das (56) már korábban ajánlotta és az ebben a kivonatban talált foszformennyiség alapján gyakorlatilag jól beváló mútrágyázási tanácsokat tudott adni az indiai talajokra nézve.

Barbier, Maroger és Gachon (12) a versaillesi kísérleti parcellákon alkalmazott istállótrágyában a következő P-tartalmat találták: összes P 3,04%, savban oldható szerves P 0,93%, lúgban oldható szerves P 0,03%, fitin-P 1,54%, fehérjéhez kötött P 0,41%. Az istállótrágya különböző foszforvegyületeinek mennyiségében beálló változásokat is vizsgálták,



mégpedig egy olyan parcellán, amely 1929 óta (az 1942—1944 időszak kivételével) minden évben 1000 q/ha istállótrágyát kapott és a szokásos talajművelésben részesült, de növényzetet nem termesztettek rajta. A fluorhidrogénis feltárással megállapított összes P-tartalmat 1930-ban 1,28%-nak, 1939-ben 1,72%-nak, 1940-ben 1,88-nak találták, míg a savban és lúgban oldódó összes P mennyiségét az előbb említett időpontokban 1,03, 1,52 és 1,74 ezrelékben állapították meg. Istállótrágyázásban nem részesült ellenőrző parcellák talaját rendszeresen megvizsgálva jelentős különbségeket figyeltek meg mind a szerves, mind a szerves kötésű P mennyiségében. A szerves szulfidvegyületek mennyisége a kezelésben nem részesült parcella talajában 1930-tól 1949-ig lényegileg változatlan maradt és nagyságrendileg 0,4 és 0,5 ezrelék P között váltakozott, amely mennyiségből 0,23—0,31 esett a savban és 0,15—0,18 a lúgban oldódó szerves P-vegyületekre. Ezzel szemben az istállótrágyázásban rendszeresen részesült parcella talajában a savban oldható szerves P-vegyületek mennyisége az 1930 évi 0,30-ról 1939-ben 0,70-re, 1949-ben pedig 0,80 ezrelékre, a lúgban oldhatóké 0,16-ról 0,18, illetőleg 0,19-re, az összes szerves P-vegyületek mennyisége 0,46-ról 0,88-ra, illetőleg 0,99-re nőtt, ami 74—85%-os emelkedésnek felel meg. A szerves kötésű P-vegyületekre vonatkozó adataik szerint az ellenőrző parcella talajában szinte változatlan volt a savban oldható (fitinhez kötött) és lúgban oldható (fehérjékhez kötött) P mennyisége 19 év alatt (számszerű értékben 0,04 és 0,10, illetőleg 0,31—0,43 ezrelék között), összes szerves P-tartalomban 0,4 és 0,5 ezrelék között mozogva. Ezzel szemben a rendszeresen istállótrágyázott parcella talajában a savban oldható szerves P-vegyületek mennyisége 1930-ban 0,11, 1939-ben 0,15 és 1949-ben 0,42 ezrelék, a lúgban oldhatóké ugyanezen időpontokban 0,45, 0,49, és 0,53 ezrelék, az összes szerves kötésű P mennyisége pedig 0,56, 0,64 és 0,75 ezrelék volt, ami 15—26 %-os növekedésnek felel meg. Figyelemreméltó, hogy a fitin-P gyarapodása jelentősen meghaladja a fehérjékhez kötött P-tartalom növekedését és hogy a szerves P-vegyületek százalékos gyarapodása lényegesen nagyobb, mint a szerves kötésű P-tartalomban észlelt növekedés. Megfigyeléseik szerint a trágyázás nélküli években a talaj fitin-P tartalma fokozatosan csökkent és a trágyázás bevezetésével újból növekedni kezdett. Megvizsgálták a 30—50 cm mélységben található altalaj P-tartalmának és különféle P-frakcióinak mennyiségi váltásait is. A foszfornak felülről lefelé való vándorlását igazolja, hogy az altalaj P-tartalma a kezeletlen parcella altalajával egybevetve jelentős P-gyarapodást mutat. A 30—50 cm-es altalajrétegben az összes P-tartalom gyarapodása kb. 25—30%-át teszi ki a megművelt feltalajban észlelt mennyiségi növekedésnek. Az al-

talajban összegyűlő P főként szervesen kötött, a szerves kötésű P-nak pedig (akárcsak a feltalajban) túlnyomó része fehérjékhez kötött és csak kisebb hányada fitin-P. Foszfátid-P-t csupán nyomokban találtak. Egyéb irányú vizsgálataikban azt állapították meg, hogy a szemleges humátok a finomra őrölt természetes foszfátokat (apatitokat) mérhető mértékben nem képesek feloldani, de elősegítik azt, hogy vizes szuszpenzióba menjenek olyan mértékben, amilyen csekély mértékben maguk a humátok is képesek erre. A vashumát komplexek messz jelenlétében nem adszorbeálnak  $PO_4$  ionokat és a huminsav anionok szerepe csupán annyi, hogy a pozitív töltéseket telítik és a ferrihidroxid foszforadszorbeáló képességét csökkentik.

Fries (81) favelevekben a különböző szerves foszforfrakciók elválasztását úgy végzi, hogy először 0,1 normál sósavval kivonja a savban oldódó foszforvegyületeket, a maradékból abszolút etanolos kezeléssel kivonja a lipid foszfátot, végül normál nátronlúggal oldja ki a maradékból a nukleinsavhoz kötött foszfátot. Az így kapott oldatokban a Teorell módszerével (198) határozza meg a foszfortartalmat.

#### 4. A talajok szerves foszfortartalmára vonatkozó adatok

Garman (85) oklahomai talajok feltalajában a szerves kötésű P-tartalmat 30 és 173 mg/kg-nak találta, a feltöretlen talajokban valamivel nagyobbak (114) tapasztalta a szerves kötésű P-mennyiségét, mint a megműveltekben (94). A talaj összes P-tartalmának átlagosan 46 %-a volt szerves kötésű P. A szerves P aránya a szerves anyag mennyiségéhez 1 : 102 és 1 : 642 közt változott. Feltevése szerint a szerves P valószínűleg a talajhoz adott szerves maradványokból származik és a mikroorganizmusok által végzett szintézisekből kifolyólag válik fokozatosan felvehetővé a vegyületek lebontása során. Savanyú talajokban rendszerint nagyobb volt a szerves P: szerves anyag arány, mint szemleges vagy meszes talajokban.

Damsgaard-Sorensen (55) szerint a dán talajokban a szerves kötésű P mennyisége 6 és 114 ú. n. Ft-E egység között váltakozott (1 ilyen egység 40 g légszáraz talajban 1 mg  $PO_4$ -t jelent), átlagban 27 egység volt, szemben a szervesen kötött P átlagos 24 egységnyi és a szilikátokhoz kötött P-nak 10 egységnyi értékével. Megállapítása szerint a szerves kötésű P-tartalom a humuszban gazdag talajokban nem feltétlenül nagyobb, mint humuszszegényekben. A szerves kötésű P az istállótrágyában gyorsan mineralizálódik, ha a talajba kerül. Ötven év óta rendszeresen istállótrágyázott dán talajban a szerves kötésű P mennyisége az istállótrágyáénak csupán 3%-át tette ki. Az összes P-nak 18%-a volt szerves kötésű a vegyes istállótrágyában. Ha a talajhoz  $CaCO_3$ -t adagolt, ez az összes P-tartalom mennyiségét

nem befolyásolta, de a szerves kötésű P tartalmát a mézs-adaggal arányos mértékben csökkentette, ami valószínűleg a P mineralizációjával áll összefüggésben.

Száz finn talaj vizsgálata alapján Kaila megállapítja, hogy (109) megművelt talajokban az összes C: szerves P hányados ásványi talajok esetében 100 és 150 közt váltakozik, tőzegtalajok esetében azonban a 700-at is elérheti, ami az utóbbiak humifikálódásának alacsony szintjét világosan mutatja. Az összes P-tartalomnak megművelt talajok esetében 40%-a, tőzegtalajok esetében 60%-a volt szerves kötésben.

Szokolov szerint (188) a legtöbb ásványi talajban a nukleoprotein kötésű P mennyisége 20—22%-a az összes szerves P-tartalomnak. Ha a csjerno-zjomokat híg sósavval előzetesen kezelte, ez az arány 60%-ra nőtt meg. Foszfátidokat csupán cleyésző mennyiségben talált a talajokban, az összes P-tartalom százaléklában kifejezve 0,4—2,6% között. Podzolokban és vörös vályogtalajokban csak nyomokban voltak jelen.

Dmitrenko (65) 57 talajmintának vizsgálata során a legkisebb szerves foszfortartalmat 0,21—0,39%-nak találta réti agyagban, azután jött a csjerno-zjom és szolonyec 0,95—1,43%-os P-értékkel, végül a szürke podzolok 1,27—1,41 mennyiséggel. A C:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tartalom aránya 30,81-től 61,6-ig váltakozott, tőzegben viszont 280-ra is megnőtt.

Schollenberger (181) 12 ohio-állambeli talajban a felületi rétegben az összes P-tartalomnak 18—52%-át találta szerves kötésben lévőnek. Dean (60) a világ különböző részeiből származó 34 különféle talajmintában a szerves kötésű P mennyiségét az összes P-tartalomnak 8—50%-ának találta és megállapította, hogy a mennyiség arányos a C-tartalommal.

Basu és Kibe (16) szerint Bombay környéki típusos meszes fekete gyapottalajban a P-kötés karbonát-apatitképződéssel magyarázható. A talajban az összes P-tartalomnak 12—20%-a szervesen kötött. Istállótrágyázott talajban a szerves P-tartalom az összes P-tartalomnak 13%-a volt, a szuperfoszfátot tartalmazó csupán 2,59 %-a. A trágyázott talajokban a szerves P-tartalom átlagosan 6—13% közt váltakozott, az inaktív frakció mennyisége 35—40% volt, legnagyobb hányadot a szuperfoszfáttal kezelt talaj mutatta.

## 5. Újabb eljárások a talaj szerves és szerves foszfortartalmának meghatározására

### a) módszerek

Behrens (23) 180 irodalmi adatot foglalt össze e tárgy körben. Azóta megjelent dolgozatok többféle kioldószer ajánlanak a talaj könnyen oldódó P-tartalmának kivonására.

Blenkinsop (29) a délnyugatangliai talajok esetében a vízzel való kivonást alkalmazhatónak találta. McGeorge (130) jó eredményeket ért el CO<sub>2</sub>-vel telített víznek, mint kivonószernek a használatával. Bingham (27) kaliforniai talajok 1:10 arányban vízzel való kivonásakor a leszűrt és centrifugált kivonatot P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tartalmából termelési és trágyázási tanácsadásra használható adatokat tudott kapni, a határértékeket 0,30 és 0,50 mg/kg-nak találta. Sok amerikai államban a Truog-eljárással kapták a legjobb egyezéseket. Mukherjee (142) a nem meszes vörös indiai talajokra is ezt ajánlotta. Bondorff és Damsgaard (32) dán talajok műtrágyázási tanácsadása szempontjából a leginkább megbízható alapnak a Bondorff-féle salétromsavas kivonással kapott ún. n. «foszforsavszámot» találta, ezenkívül az Egnér-féle laktátszámmal is jó eredményeket ért el, a szintetikus nátrium zeolittal való rázóssal kapott «permutitszámmat» vagy «foszfátszámmat» már kevésbé találta használhatónak. Rubins és Dean (170) összehasonlította az ecetsavas kivonást a Morgan-oldószerrel, a Truog oldószerrel és a laktátos módszerrel végzett kivonással és megállapította, hogy az eredmények igen szignifikánsan függnek össze egymással. Salonen (174) finn talajok esetében a 0,025 n ecetsavas kivonással kapott eredményeket jól alkalmazhatónak találta. a Truog és a Dean féle kivonószerekkel túlságosan sok Fe és Al foszfát kioldását tapasztalta. Kaila (109) ötféle eljárást hasonlított össze (Bondorff salétromsavas kivonását, a citromsavas, a 0,5 n ecetsavas, a 0,09 n ecetsavas, nátrium-acetátos és a laktátos kivonást) és megállapította, hogy a híg ecetsavas és nátriumacetátos oldószer sok esetben túlságosan nagy értéket ad, a többi pedig rendszerint a ténylegesnél kisebbeket. Hende (99) kísérleti szerinti a Morgan-féle nátriumacetátos kivonás adja a legjobb felvilágosításokat a talaj foszforral ellátottságáról és a növény P-felvételéről.

Ermoljev (74) orosz talajokon végzett vizsgálataiban azt találta, hogy az Egnér-eljárásával (70) végzett meghatározások eredménye megegyező a Mitscherlich-féle adatokkal. Várallyay (205) az Egnér módszerét talajérleléssel és mikrotrágyázással kapcsolta össze és a kezelt és kezeletlen talaj foszfortartalmában az Egnér-eljárással kapott különbséget használja fel alapként a műtrágyázási tanácsadásban. Chapman (50) a foszfát felvehetőségét a zöld növényi szövét szervesen foszfát-tartalma alapján határozza meg. A talaj foszformegkötő képességének megállapítását Bass és Sieling (14) úgy végzi, hogy a talajmintát meghatározott kísérleti körülmények között 0,5 molos citromsavoldattal kivonja, a kivonatot megállapítja a vas- és alumínium mennyiségét és ezt az adatot alkalmazza, mint a talaj relatív foszformegkötő képességének számszerű értékét.

b) *A szerves kötésű foszfor kivonószerei*

Odynski (150) a talaminta egyik részletét 2,0 *n* kénsavval vonja ki, azután a kivont és kezeletlen mintát egyaránt kiűzti 600°-on és a különbségből következtet a szerves kötésű P mennyiségére. Ghani (87) kénsav helyett 0,5 *n* ecetsavat használ kivonószerként, hogy elkerülje a kénsav esetleges oldó hatásából a szervesen kötött foszfor megbontása révén származó hibákat. Dickmann és De Turk (64) foszformentes H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-vel való lepárlással bontja el a szerves kötésű P-vegyületeket és 0,2 *n* kénsavval vonja ki a termékéből az elbomlott P-t. Sokolov (188) híg H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-t és utána 0,05 *n* sósavat alkalmaz. Dean (59) több frakciót különít el, amennyiben először nátriumacetáttal kezeli a mintát, azután a NaOH-ban oldódó szerves, majd a NaOH-ban és savban oldódó szervesen, végül az oldhatatlan P-frakciót különíti el. A kivonatok szintelenítésére brómvizet alkalmaz. Ghani (87) részletes vizsgálatai alapján lényegesen módosította és tökéletesítette a Dean-féle és az Odynski-féle eljárást. Pearson (154) először 0,1 *n* sósavval, majd 0,5 *n* HN<sub>3</sub>OH-val vonja ki a talajt, azután az utóbbi oldat száraz maradékából kiűzítés után újból meghatározza a P-tartalmat. Bray és Kurtz (40) a Dickmann és De Turk módszerét módosítva 0,5 *n* sósavat alkalmaznak a hidrogénperoxiddal együtt és ammóniumfluoridot használnak a szerves anyagból felszabaduló P eltválítására. Ghani és Aleem (88) talajjal keverték össze különböző foszfortartalmú anyagokat és vizsgálták, a keverékből mennyi P oldható ki 0,5 *n* ecetsavval, 2,0 *n* kénsavval és 0,25 *n* NaOH-val. Azt találták, hogy a mono-, di és trikálciumfoszfát legnagyobb része megvolt az ecetsavval kioldható frakcióban, a ferriszfátoknak pedig túlnyomó része a nátriumhidroxidos frakcióban mutatkozott. A trikálciumfoszfát és az apatit majdnem teljesen oldhatatlannak mutatkozott NaOH-ban, viszont híg kénsavban jól feloldódtak. Dmitrenko (65) az 1%-os citromsavban oldható P mennyiségének a 3 %-os ecetsavban oldható P mennyiségéhez mutatott arányát arra nézve tartja jellegzetesnek, hogy valamely talajban mennyi a kalcium, illetőleg a vas és alumínium foszfátjainak egymáshoz való aránya és a kapott arányból következtetéseket tart levonhatónak. Barbier és Chabannes (8) kísérletei arra utalnak, hogy a talajban egy híg savban (0,002 *n* kénsavban) oldható, gyorsan megkötődő P van jelen, e mellett azonban van benne egy lassabban megkötődő alakban lévő P-frakció, mely az előbbiből képződik és híg lúgban (mészhidroxid oldat vagy 0,002 *n* KOH) oldható. Ez arra utal, hogy a talajok felvehető P-tartalékának meghatározásakor nemcsak savanyú, hanem lúgos kivonószereket is alkalmazni lehet. Kurssanow szerint (117a) szervesen P, fitin-P, hexózi-

foszfát, hexózi-monofoszfát, glicerinfoszorsav egy idejűleg közvetlenül meghatározható az általa kidolgozott frakcionálási és elválasztási eljárás segítségével. A P meghatározására a Fiske-SubbaRow módszert (75) alkalmazza. Barbier (12) talajban és istállótrágyában először az összes P-tartalmat határozza meg Collier szerint (52) 500°-on végzett kiűzítés és fluorhidrogénes feltárás után, külön mintákban alkoholos és éteres kivonással a foszfátid-P frakciót, triklórecetsavval kivonással a fitin és hexózfoszfátokat, majd lúgos hideg kivonással a proteineket és nukleinsavakat különíti el és nitroperklórsavas roncsolás után végzi a P meghatározását. Bower (37) a szerves foszfor frakcióinak meghatározására eljárást dolgozott ki. Lényege, hogy a csekély mennyiségű foszfátid-P-t elhanyagolja és csupán a fitin-P és a nukleinsavakhoz kötött P elválasztására törekszik. Lúgos viszonyok között a fitin és származékai az inozit-monofoszfát kivételével a kalciummal és báriummal oldhatatlan sókat képeznek. A lecsapás optimális körülmények mellett 95%-os, ha kalciumhidroxidot alkalmaz kicsapószerként. Ugyanez a nukleinsav és guanilsav oldatban marad. A báriumhidroxid kevésbé használható az elválasztásra. Bower módszere igen alkalmas a talajhoz adott fitin, fitinszármazékok és nukleinsavak felvehetőségének, illetőleg mineralizálódásának részletes vizsgálatára.

c) *A foszformeghatározás kivitelezése*

Dyer és Wrenshall (69) a Truog és Meyer-féle molibdénkévkémszerek és Evelyn-féle fényelektromos fotóméter alkalmazása mellett részletesen tanulmányozta a színes komplex képződési feltételeit. Megállapította, hogy a színintenzitás maximuma 5 perc alatt beáll és 0,02—0,40 mg/kg P-tartalmi határok között a Beer-féle törvény érvényes. Különbséget tud tenni az ortofoszfát és más alakú P között. Dickmann és Bray (63) a kénsav helyett sósavat használ, aminek előnye, hogy bizonyos értékhatárig a ferrivas nem zavar és a szín halványodása lassabban következik be. A klór, szulfát, nitrát és perklorát zavaró hatása sokkal csekélyebb, mint más eljárásoknál. Forsee (78) módosította a Dickmann és Bray-féle eljárást, a klorid és molibdát ionok töménységét megadott határok közt tartja, frissen készült SnCl<sub>2</sub> oldatot használ s így 30 percig állandó színintenzitást tud elérni. Sósavat a legkevesebb megbízható kivonószereknél találta, 0,5 *n* ecetsav mutatkozott a legreprodukálhatóbb adatokat szolgáltatató kivonószereknél. Williams és Stewart (210) a Hilger-Spekter fényelektromos abszorpcióméterre dolgozták át a Meyer és Truog-féle kémszerekkel végzett meghatározás technikáját és jelentős egyszerűsítéseket értek el, amennyiben bizonyos körülmények között

a kivonatokat közvetlenül kolorimetrálják. Tinsley és Pizer (201) a Morgan-féle egyetemes kivonóoldatot alkalmazza a Spekker-féle abszorpciometer használata mellett. Nydhal (149) a foszfomolibdátot kiesapás után gravimetriásan határozza meg. Bertramson (26) a kémszerek eltartásának körülményeit vizsgálja és a  $\text{SnCl}_2$  oldatot hidrogénlégtérben javasolja tárolni. Jessen és Constantin (106) megállapítja, hogy a P laktátos meghatározásakor a leggyakoribb hibát túlságosan híg  $\text{SnCl}_2$  használata idézi elő és azt ajánlja, hogy naponta frissen készítsék és jóoldattal vizsgálják meg a hatóképességét. Khanna, Prasad és munkatársai (113) szilárd stannoxalát használatát ajánlják, amikor 10 perc alatt beáll a maximális színintenzitás. A maximális P-mennyiség kioldására szerintük 1 g talajhoz 20 ml  $n$  HCl oldatot kell használni. Hermann és Lederle (102) Scheelnek (178) korábban leírt módszerét dolgozták át kolorimetriás eljárásá. Itt a «photo-rex» nevű vegyszert (monometil-amido-fenolszulfátot) adják ammóniummolibdáthoz s így hetekig eltartható, állandó oldatot kapnak. Az  $\text{SnCl}_2$  hozzáadása után igen kényelmes az eljárás kivitele, amennyiben a színintenzitás 30 perc eltelté után egészen hat órával az elegyítés utánig bármikor leolvasható. A hőfokra sem kényes eljárásuk, 10 és 30° C közt végezhető a munka. Trinder (202) citromsavas talajkivonatokból a citromsavat kénsavas ammóniumperszulfátoldattal való főzés útján távolítja el. Burriel Marti és munkatársai (44) spanyol talajok vizsgálatára a Zinzadze módszernek Ward-féle módosítását olyan módon változtatták meg, hogy 50 ml-es üvegeket használnak, a molibdénreagensből 0,3 ml-t adagolnak, indikátorként fenolftaleint, redukálószerként kénsavas nátriumszulfit ol-

datot használnak és a redukálást követően nátriumkarbonátot adnak az elegyhez a színintenzitás erősítése céljából. Az oldatokat elektromos fűtésű fürdőben tartják 95° C állandó hőmérsékleten. Ez a módszer gazdaságos és érzékeny, a kémszer viszkozitásából eredő hatások kiküszöbölhetők, a melegítés csupán 10 percig tart és a titán nem zavarja a reakciót. Smith, Dyer Wrenshall (186) megállapította, hogy a ferrivas zavaró hatása azon alapul, hogy reakcióba lép a redukálószerrel. Ezért azt ajánlja, hogy az oldatot higítsák fel 0,1 mg/kg P töménységűre és a szokásosnál 2-3 szorta több  $\text{SnCl}_2$ -oldatot alkalmazzanak. Eisenberger és Przybylski (72) a Tischer-féle molibdén-kék módszerrel való meghatározásakor a vasnak és más elemeknek zavaró hatását oxinnal való lecsapással küszöböli ki. Lederle (122) vizsgálatai szerint a talajoknak laktátos kivonásakor 100 g talajból 0-tól 6 mg-ig terjedő mennyiségben oldódhat ki a három- és az ötvegyértékű arzén, feltéve, hogy a talaj eredeti arzéntartalma 0 és 100 mg/100 g közt mozog. Ezek közül csupán az öt-vegyértékű arzén befolyásolja a molibdénkék színének intenzitását. Atkinson Bishop és Levick (6) az arzén zavaró hatását úgy küszöböli ki, hogy a talajkivonathoz az amino-naftolszulfonsav és ammónium molibdat hozzáadását megelőzően nátriumhidroszulfitoldatot adagol. Zeller (214) a Zinzadze-eljárás helyett (215) az általa módosított Müller-féle (145) módszert ajánlja. A módosítás lényege, hogy hidegen, kénsavas oldatban nátriumszulfittartalmú amidollal végzi a redukálást. Előnye, hogy a szín intenzitása 24 óráig állandó, nem érzékeny a kémszerek töménységében esetleg beálló változások iránt, nem változik sók hatására.

FINÁLY ISTVÁN

### Irodalom

1. *Agyerikin, P. G.* : Pocsvegyenyije. 1946. 550 ; 1951. 201.
2. *Allison, L. E.* : Soil Sci. 55, 333 1943
3. *Allison, L. E. & Scarseth, G. D.* : J. Amer. soc. Agron. 34, 616 1942
4. *Aso, K.* : Bull. Coll. Agr. Japan 6, 277 1904
5. *Askinasi & Jarusov* : Trans. Scient. Inst. Fertil. Moszkva, 1928, 58
6. *Atkinson, H. J., Bishop, R. F. & Levick, R.* : Sci. Agric. 30, 61 1951
7. *Auten, J.T.* : Soil Sci. 13, 119 1922 ; 16, 281 1923
- 7.a. *B. W. D.* : Soils and Fertilizers 13. 235. 315. 1950.
8. *Barbier, G. & Chabannes, J.* : C. R. Acad. Agric. 33, 735 1947 ; Ann. Agron. 1949, 343
9. *Barbier, G. & Huriez N.* : Rech. fert. sta. agronom. 16, 37 1943 ; C. A. 40, 5866 1946
10. *Barbier, G. & Maroger, M.* : C. R. Acad. Sci. 230, 130 1949
11. *Barbier, G., Chabannes, G. & Miallet, P.* Ann. Agron. 1946, 20
12. *Barbier, G., Maroger, M. & Gachon, L.* Ann. Agron. 1951, 317
13. *Bartholomew, W. V. & Goring, C. A.* : Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. 13, 238 1948
14. *Bass, G. B. & Stieling, D. H.* : Soil Sci. 69, 269 1950
15. *Basset, H.* : J. Chem. Soc. 111, 620 1917
16. *Basu & Kibe* : J. Univ. Bombay 14A, 29 1945 ; C. A. 40, 4458 1946
17. *Bauer, F. C.* : Soil Sci. 12, 21 1921
18. *Baver, L. D. & Bruner, F. H.* : Missouri Agric. Expt. Sta. Bull. 404. 1939.
19. *Bear, F. E. & Toth, S. J.* : Indust. Engng. Chem. 34, 49 1942
20. *Bear, F. E., King, W. A. & Bender, C. B.* : N. J. Agric. Expt. Sta. Bull. 730, 1. 1946.



21. *Bear, F. E.* : Soil Sci. **68**, 113 1949
22. *Beater, B. E.* : Plant and Soil **1**, 215 1949; Soil Sci. **44**, 227 1937
23. *Behrens, W. U.* : Forsch. Dienst. **4**, 463 1937; **9**, 237 1940
24. *Benne, E. J., Perkins, A. T. & King, H. H.* : Soil. Sci. **42**, 29 1936
25. *Bertramson, B. R.* : Soil Sci. **53**, 135 1942
26. *Bertramson, B. R. & Stephenson, R. E.* : Soil Sci. **53**, 215 1942
27. *Bingham, F. T.* : Calif. Agric. **3**, No. 8. 11 1949
28. *Blajk, I. A.* : Soil Sci. **51**, 289 1941.
29. *Blenkinsop, A.* : Agric. Prog. **15**, 184 1938.
- 29a. *Blume, L. M., Hagen, C. E. & Mackie, R. W.* : Soil Sci. **70**, 415. 1950.
30. *Blume, J. M.* : Soil Sci. **73**, 299. 1952.
31. *Bondorff, K. A.* : Tidsskr. Planteavl. **53**, 336. 1950; Soil and Fertil. **13**, 235. 1950.
32. *Bondorff, K. A. & Damsgaard-Sorensen, P.* : Tidsskr. Plant. **46**, 377. 1942; Soil and Fertil. **13**, 235. 1950.
33. *Bottomley, W. B.* : Proc. Roy. Soc. **B 90** 39, 1919.
34. *Bould, C., Nicholas, D. J. D. & Thomas, W. D. E.* : Nature **167**, 140. 1951.
35. *Bower, C. A.* : Soil Sci. **59**, 277. 1945.
36. *Bower, C. A., Black, C. A. & Harrington, J. F.* : Iowa Agric. Expt. Sta. Rept. 1944-45, 23 1945
37. *Bower, C. A.* : Iowa Agric. Expt. Sta. Bull. **362**, 1949
38. *Bradfield és munkatársai* : 3rd Internat. Congr. Soil Sci. **1**, 74. 1935
39. *Bray, R. H.* : Comm. Fert. **66**, No. 1, 30 1943; Soils and Fertil. **13**, 318 1950
40. *Bray, R. H. & Kurtz, L. T.* : Soil Sci. **59**, 39 1945
41. *Brown, L. A.* : Soil Sci. **39**, 277 1935
42. *Brown, R. J.* : Proc. Amer. Soc. Sug. Beet Tech. 1940, 305.
43. *Burd, J. S.* : Soil. Sci. **65**, 227 1948
44. *Burriel Marti, F. & Hernando Fernandez, V.* : An. Inst. Esp. Edafol. **6**, 543. 1947; Soil and Fertil. **13**, 318. 1950.
45. *Cameron, F. K. & Bell, J. M.* : U. S. D. A. Bur. of Soils Bull. **41**, 1907.
46. *Chaminade, R.* : Ann. Agron. 1946, 229; 1947, 530.
47. *Chaminade, R., Segalen, P. & Vistelle, R.* : Ann. Agron. 1947, 530.
48. *Chandler, W. V.* : J. Amer. Soc. Agron. **33**, 1. 1941.
49. *Chang, S. C.* : Soil. Sci. **48**, 85. 1939; **49**, 197. 1940.
50. *Chapman, H. D.* : Soil. Sci. **39**, 111. 1934.
- 50a. *Cole, C. V. & Jackson, M. L.* : Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. **15**, 84. 1951.
51. *Coleman, R.* : Proc. Soil Sci. Soc. Amer. **7**, 134. 1942; **9**, 72. 1944.
52. *Collier, D.* : Ann. Agron. 1945, 352.
53. *Copeland, O. L. & Merkle, F. G.* : Proc. Soil Sci. Soc. Amer. **6**, 321. 1941.
54. *Dalton, J. D., Russel, G. C. & Sieling, D.*, Soil Sci. **73**, 173. 1952.
55. *Damsgaard-Sorensen* : Tidskr. Planteal **50**, 653. 1946; C. A. **43**, 1510. 1949.
56. *Das, S.* : India Dept. Agr. Mem., Chem. Ser. 8., No. 6. 1926; Indian J. Agric. Sci. **15**, 42. 1945.
57. *Dasevskij, L. I.* : Kim. Szocial. Zemled. No. 8. 60. 1939.
58. *Davis, F. L.* : Soil Sci. **56**, 457. 1943; **60**, 481. 1945; **61**, 179. 1946.
59. *Dean, L. A.* : Soil Sci. **37**, 253. 1934; J. Agric. Sci. **28**, 234. 1938.
60. *Dean, L. A.* : Advances in Agronomy. New York 1949. Academic Press Inc. 1. 391.
61. *Dean, L. A. & Rubins, E. J.* : Soil. Sci. **63**, 377. 1947.
62. *Demolon, A. & Bastisse, E.* : Ann. Agron. **4**, 53. 1934; Indust. Engng. Chem. Anal. Ed. **12**, 665. 1940.
63. *Dickmann, S. R. & Bray, R. H.* : Soil Sci. **52**, 263. 1941.
64. *Dickmann, S. R. & DeTurk, E. E.* : Soil. Sci. **45**, 29. 1938.
65. *Dmitrenko, P. A.* : Poesvovegyenyije 1948, 495.
66. *Dobresco, I. M. & Russev, T. A.* : Bull. Sci. Acad. Roumanie **18**, 33. 1937.
67. *Dumont, J.* : Compt. rend. Acad. Sci. **143**, 186. 1906.
68. *Dusecskin, A. I.* : Zh. Opitn. Agron. **12**, 650. 1911.
69. *Dyer, W. J. & Wrenshall, C. L.* : Canad. J. Res. **16 B**, 97. 1938; Soil Sci. **51**, 159. és 323. 1941.
70. *Egnér, H.* : Amer. Fert. **94**, No. 5., 5, 22, 24, 26. 1941.
71. *Eid, M. T., Black, C. A. & Kempthorne, O.* : Soil Sci **71**, 361. 1951.
72. *Eisenberger, E. & Przybylski, H. F.* : Bodenk. Pfl. Ernähr. **17**, 151. 1940.
73. *Ensminger, L. E. & Gieseking, J. E.* : Soil Sci. **48**, **48**, 1939.; **51**, 125. 1941; **53**, 205. 1942.
74. *Ermoljev, E.* : Chem. Abzor. **14**, 115. 1939.
75. *Fiske & SubbaRow* : J. Biol. Chem. **66**, 375. 1925.
76. *Flieg, O.* : Z. Pflernähr. Bodenk. **38**, 222. 1935.
77. *Ford, M. C.* : J. Amer. Soc. Agron. **25**, 134. 1933.
78. *Forsce, W. T.* : Fla. Agric. Expt. Sta. Rept. **57**, 199. 1945; Proc. Soil Sci. Soc. Florida **43**, 50. 1949.
79. *Fraps, G. S.* : Texas Agr. Expt. Sta. Bull. **304**, 1922.
80. *Fraps, G. S. & Fudge, J. F.* : J. Amer. Soc. Agron. **37**, 532. 1945.
81. *Fries, N.* : Plant and Soil **4**, 29. 1952

82. *Fries, N. & Björkman, U.*: *Physiol. Plant.* **4**, 410. 1951.
83. *Gaarder, T.*: *Med. Vestland. first. Forsokssta.* **14**, 1. 1930.
84. *Gaarder, T. & Graehl-Nielsen, O.*: *Medd. Vestland. forst. Forsokssta.* **18**, 1. 1935.
85. *Garman*: *Proc. Oklahoma. Acad. Sci.* **28**, 89. 1948; *C. A.* **43**, 2712. 1949.
86. *Gerretsen, F. C.*: *Plant and Soil* **1**, 51. 1948.
87. *Ghani, M. O.*: *Indian J. Agric. Sci.* **11**, 954. 1941; **12**, 336. 1942; **13**, 29 és 562. 1943; **14**, 261. 1944.
88. *Ghani, M. O. & Aleem, D. A.*: *Indian J. Agric. Sci.* **13**, 142. 1943.
89. *Gile, P. L.*: *U. S. D. A. Tech. Bull* **371**, 1933.
90. *Gori, R.*: *Accad. Fisic. Siena Atti Sez. Agr.* **9**, 3. 1942.
91. *Goring, C. A. I. & Bartholomew, W. V.*: *Proc. Soil. Sci. Soc. Amer.* **14**, 152. 1950; **15**, 189. 1951.
92. *Goring, C. A. I. & Clark, F. E.*: *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* **16**, 7. 1952.
93. *Goriner, R. A. & Shew, W. M.*: *Soil Sci.* **3**, 99. 1917.
94. *Gourley, D. R. H.*: *Nature* **169**, 192. 1952.
95. *Grandeau, L.*: *Traité d'analyse des matières agricoles*, Paris. 1877.
96. *Haseman, J. F., Brown, E. H. & Whitt, C. D.*: *Soil Sci.* **70**, 257. 1950.
97. *Haseman, J. F., Lehr & Smith*: *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* **15**, 76. 1951.
98. *Heck, A. F.*: *Soil Sci.* **37**, 343. 477. 1934; **38**, 463. 1935.
99. *Hende, A.*: *Trans. Fourth. Internat. Cong. Soil Sci.* **1**, 218. 1950.
100. *Henderson, W. J. & Jones, U. S.*: *Soil Sci.* **51**, 283. 1941.
101. *Hester, J. B.*: *J. Amer. Soc. Agron.* **29**, 10. 1937.
102. *Hermann, R. & Lederle, P.*: *Bodenk. Pfl. Ernähr.* **32**, 306. 1943; **34**, 1. 1944.
103. *Hibbard, P. L.*: *Soil Sci.* **39**, 337. 1935.
104. *Iowa Agr. Exp. Station*: *Iowa Agric. Expt. Sta. Rept.* 1945-46. Part. I. 106.
105. *Jackman, R. H. & Black, C. A.*: *Soil Sci.* **72**, 179. 1951; **73**, 167. 1952.
106. *Jessen, W. & Constantin, G.*: *Z. Pfl. Ernähr. Düng.* **44**, 168. 1949.
107. *Johnson, D. D. & Broadbent, F. E.*: *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* **16**, 56. 1952.
108. *Jordan, J., Simkins, C., Corey, G. Knight, R. & Baker, G. O.*: *Soil Sci.* **73**, 305. 1952.
109. *Kaila, A.*: *Valt. Maatalousk. Julk. No.* 128. 1948; *Valt. Maatalousk. Aikakak.* **21**, 67. 1949; *Valt. Maatalousk. Tied. No.* 220. 26. 1949. *Soil Sci.* **68**, 279. 1949.
110. *Karpinski, N. P. & Zamjatina, V. B.*: *Physical Chem. of. Soils. VIUAA.* **2**, 133. 1933.
111. *Kelly, J. B. & Midgley, A. R.*: *Soil Sci.* **55**, 167. 1943.
112. *Khainszki, A.*: *Pedology* **18**, 49. 1916.
113. *Khanna, K. L. Prasad, S. N. & Bhattacharya, P. B.*: *Proc. Indian. Acad. Sci.* **25**, 55. 1947.
114. *Kheifetz, D. M.*: *Pocsvovegyenyije.* 1948. 100.
115. *Kinzerszkája, K. N.*: *LOVIUAA.* **37**, 1935.
116. *Kitson, R. E. & Mellon, M. G.*: *Indust. Engng. Chem. Anal. Ed.* **16**, 379. 1944.
117. *Kononova, M. M.*: *Trudi Pocsv. Inst. Acad. Sci.* **10**, No. 4. 1934.
- 117a. *Kurssanov*: *Biohimija* **3**, 467. 1938; *Chem. Zbl.* 1939. I. 1016.
118. *Kurszatov, P. & Pil, J. F.*: *Vszeszozuj. Iszled. Inst. Tabak. Krasznodar* 1935. 93.
119. *Kurszatov, P. A.*: *Vszeszozuj. Inst. Tabak.* **129**, 1936.
120. *Kurtz, T., DeTurk, E. E. & Bray, H. R.*: *Soil Sci.* **61**, 111. 1946.
121. *Larsen, S.*: *Plant and Soil* **4**, 1. 1952.
122. *Lederle, P.*: *Z. Pfl. Ernähr. Düng.* **48**, 85. 1949; **39**, 202. 1947.
123. *Leimmermann, O. & Rauterberg, E.*: *Z. Pfl. Ernähr. Düng.* **43**, 193. 1949.
124. *Lohse, H. V. & Ruhnke, G. N.*: *Soil. Sci.* **36**, 303. 1933.
125. *Low, P. F. & Black, C. A.*: *Proc. Soil. Sci. Soc. Amer.* **12**, 180. 1947.
126. *McAuliffe, C. D., Hall, N. S., Dean, L. A. & Hendricks, S. B.*: *Proc. Soil. Sci. Soc. Amer.* **12**, 119. 1947.
127. *McAuliffe, C. & Peech, M.*: *Soil. Sci.* **68**, 179. 1949.
128. *McAuliffe, C., Peech, M. & Bradfield, R.*: *Soil Sci.* **68**, 185. 1949.
129. *McGeorge, W. T. & Breazeale, J. F.*: *Ariz. Agric. Expt. Sta. Tech. Bull.* **36**, 1931; 40. 1932.
130. *McGeorge, W. T.*: *Ariz. Agric. Expt. Sta. Tech. Bull.* **82**, 1939.
131. *MacIntire, W. H. & Hatcher, B. W.*: *Soil. Sci.* **53**, 43. 1942.
132. *Madanov, P. V.*: *Ucseny. Zaop. Kazan. Goszud. Univ.* **100**, 1. 3. 53. 1940.
133. *Mali, E. A.*: *Soil. Fertil. Problems. Cotton Res. Inst. Taskent.* 159. 1939.
134. *Masigin, B. P.*: *Soil. Fertil. Problems. Cotton Res. Int. Taskent* 124. 1939.
135. *Marais, J. S.*: *Soil. Sci.* **13**, 355. 1922.
136. *Marel, H. W.*: *Landbouw. Tijdskr.* **47**, No. 570. 1935.
137. *Mattson, S., & Karlsson, N.*: *Ann. Agr. Coll. Sweden.* **6**, 109. 1938.
138. *Metzger, W. H.*: *J. Amer. Soc. Agron.* **32**, 513. 1940; **33**, 1093. 1941.
139. *Midgley, A. R.*: *J. Amer. Soc. Agron.* **23**, 788. 1931.

140. *Midgley, A. R. & Dunklee, D. E.* : Vt. Agr. Expt. Sta. Bull. **525**. 1945.
141. *Mortland, M. M. & Gieseking, G. E.* : Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. **16**. 10. 1952.
142. *Mukherjee, M. K.* : Indian J. Agric. Sci. **11**. 243. 1941.
143. *Mulder, G. J.* : J. prakt. Chem. **21**. 203. 1840 ; **32**. 321. 1844.
144. *Murphy, H. F.* : Hilgardia **12**. 343. 1939.
145. *Müller, E.* : Z. physiol. Chemie. **237**. 35. 1935.
146. *Nagelschmidt, G. & Nixon, H.L.* : Nature **154**. 428. 1944.
147. *Nefedov, G.* : Selszk. Knoz. i. Lysov. **184**. 141. 1897.
148. *Neller, J. R. & Comar, C. L.* : Soil. Sci. **64**. 379. 1947.
149. *Nydahl, F.* : Lantbr. Högsk. Ann. **10**. 109. 1942.
150. *Odynski, W.* : Sci. Agric. **16**. 652. 1936.
151. *Okác, A.* : Boden. Pfl. Ernähr. **32**. 315. 1943.
152. *Olson, L. C.* : Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. **20**. 443. 1946.
153. *Papadakis, J. S.* : Soil. Sci. **64**. 365. 1947.
154. *Pearson, R. W.* : Indust. Engng. Chem. Anal. Ed. **12**. 198. 1940.
155. *Peech, M., Alexander, L. T. & Dean, L. A.* : U.S. D. A. Circ. **757**. 25. 1947
156. *Peech, M. & English, L.* : Soil. Sci. **57**. 167. 1944.
157. *Peech, M.* : Fla. Agric. Expt. Sta. Bull. **340**. 1939 ; Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. **10**. 245. 1946.
158. *Peperzak, P.* : Master's Thesis. Iowa State Coll. 1948.
159. *Perkins, A. T. & King, H. H.* : Soil. Sci. **58**. 243. 1944.
160. *Perkins, A. T.* : Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. **12**. 185. 1947.
161. *Perkins, A. T., Wagoner, C.E. & King, H.H.* : Soil. Sci. **53**. 37. 1942.
162. *Peterson, P. P.* : Wis. Agr. Expt. Sta. Res. Bull. **19**. 1911.
163. *Pierre, W. H.* : J. Amer. Soc. Agron. **40**. 1. 1948.
164. *Pierre, W. H. & Parker, F. W.* : Soil. Sci. **24**. 119. 1927.
165. *Pons, W. A. & Guthrie, J. D.* : Indust. Engng. Chem. Anal. Ed. **18**. 184. 1946.
166. *Remezov, N. P.* : Pedology **28**. 383. 1933.
167. *Richm, H.* : Forsch. Dienst **17**. 32. 1944.
168. *Rogers, H. T.* : Soil. Sci. **54**. 439. 1942.
169. *Rossmann C. A.* : Soil. Sci. **24**. 465. 1927.
170. *Rubins, E. J. & Dean, L. A.* : J. Amer. Soc. Agron. **38**. 820. 1946.
171. *Russel, E. J. & Prescott, J.A.* : J. Agr. Sci. **8**. 65. 1916.
172. *Russel, J.* : Boden u. Pflanze. Steinkopff, Dresden, 1936. 157. és 167.
173. *Russel, R. S., Adams, S. N. & Martin, R. P.* : Trans. 4th Internat. Congr. Soil. Sci. **2**. 138. 1950.
174. *Salonen, M.* : Maat. Aikak. **18**. 80. 1946.
175. *Sarkadi, J. & B. Kornis H.* : Agroké-mia és Talajtan **1**. 471 1952
176. *Scarseth, G. D.* : J. Amer. Soc. Agron. **27**. 596. 1935.
177. *Scarseth, G. D. & Tidmore, J. W.* : J. Amer. Soc. Agron. **26**. 138. 1934.
178. *Scheel, K. C.* : Z. Anal. Chemie. **105**. 255. 1936.
179. *Schmidt, G. & Thannhäuser, S. J.* : J. Biol. Chem. **161**. 63. 1945.
180. *Schneider, W. C.* : J. Biol. Chem. **161**. 293. 1945.
181. *Schollenberger, C. J.* : Soil. Sci. **6**. 365. 1918 ; **10**. 127. 1920.
182. *Schreiner, O.* : J. Amer. Soc. Agron. **15**. 117. 1923.
183. *Sherman, M. S.* : Indust. Engng. Chem. Anal. Ed. **14**. 182. 1942.
184. *Shorey, E. C.* : U. S. D. A. Bur. of Soil. Bull. **88**. 1913.
185. *Singh, D. & Nijhawan, S. D.* : Indian. J. Agric. Sci. **13**. 134. 1943.
186. *Smith, G. R., Dyer, W. J. & Wrenshall, C. L.* : Canad. J. Res. **17B**. 178. 1939.
187. *Smith, A. M.* : Scot. J. Agric. **22**. 353. 1939.
188. *Sokolov, D. F.* : Pedology. No. 3. 118. 1940 ; Priroda No. 5—6. 105. 1944.
189. *Spencer, V. E. & Steward, R.* : Soil. Sci. **38**. 65. 1943.
190. *Spinks, J. W. T. & Barber, S. A.* : Sci. Agric. **28**. 79. 1948.
191. *Stanberry, C. O.* : Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. **13**. 205. 1949.
192. *Stephenson, R. E. & Chapman, H. D.* : J. Amer. Soc. Agron. **23**. 759. 1931.
193. *Stoklasa, J.* : Centralbl. f. Bakt. II. **29**. 385. 1911.
194. *Struthers, P. H. & Sieling, D. H.* : Soil. Sci. **69**. 205. 1950.
195. *Strzemienski, K.* : Nature **162**. 932. 1948.
196. *Swenson, R. M., Cole, C. V. & Sieling, D. H.* : Soil. Sci. **67**. 3. 1949.
197. *Teakle, L. J. H.* : Soil. Sci. **25**. 143. 1928.
198. *Teorell, T.* : Biochem. Ztschr. **230**. 1. 1931.
199. *Thompson, L. M. & Black, C. A.* : Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. **12**. 323. 1948 ; **14**. 147. 1950.
200. *Thompson, L. M.* : Ph. D. Thesis, Iowa State Coll. 1950.

201. *Tinsley, J. & Pizer, R. H.*: J. Soc. Chem. Industr. **65**. 208. 1946.  
 202. *Trinder, N.*: Analyst **71**. 314. 1946.  
 203. *Truog, E. & Meyer, A. H.*: Indust. Engng. Chem. Anal. Ed. **1**. 136. 1929.  
 204. *Tsuda, S.*: Tokyo Imp. Univ. Coll. Agr. J. **1**. 167. 1909.  
 205. *Várallyay, Gy.*: Mezőgazd. Kutatások **13**. 72. 1940.  
 206. *Waksman, S. A.*: J. Agr. Sci. **14**. 555. 1924.  
 207. *Waksman, S. A.*: Humus, Williams and Wilkins Co, Baltimore, 1938.  
 208. *Weeks, M. E. & Karraker, P. E.*: Soil Sci. **51**. 41. 1941.  
 209. *Wiklander, L.*: Ann. Agric. Coll. Sweden **17**. 407. 1950.  
 210. *Williams, E. G. & Stewart, A. B.*: J. Soc. Chem. Indust. **60**. 291. 1941.  
 211. *Williams, H. F.*: Aust. J. Expt. Biol. **23**. 213. 1945.  
 212. *Wrenshall, C. I. & McKibbin, R. R.*: Canad. J. Res. **B15**. 475. 1937.  
 213. *Wrenshall, C. I. & Dyer, W. J.*: Canad. J. Res. **B17**. 1939; Soil Sci. **51**. 235. 1941.  
 214. *Zeller, A.*: Bodenkultur **4**. 24. 1950.  
 215. *Zinzadze, Sch.*: Z. Pfl. Ernähr. Düng. Teil. A. **16**. 129. 1930; **23**. 447. 1932.  
 216. *Zukovszkája, P.*: Microbiol. of Soil VIUAA. **2**. 167. 1937.  
 217. *Yoshida, R. K.*: Soil. Sci. **50**. 81. 1940.

#### Helyreigazítás

Az AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN I. kötet 4. számában a 484. oldalon Dvoracek — Klimes—Fejér: »Adatok magyarországi talajok szerkezeti állapotáról« című cikkében az 1. és 2. ábrát tévedésből elcseréltük.

Helyesen: az »1. ábra« szövegéhez a jobboldali diagramm tartozik és fordítva.

#### П о п р а в к а

В статье авторов М. Дворачек, А. Климеш-Смик и Б. Ш. Фэр («Данные о структурном состоянии почв в Венгрии»), опубликованной на 484. странице № 4. тома 1. журнала АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ, первый и второй рисунки были по ошибке перемешаны. Правильно нужно читать так: текст, приведенный под рисунком 1. относится к правой диаграмме, и обратно.

#### Errata

Figures 1 and 2 have been exchanged by mistake, in the paper titled »Data of the Structural Status of Hungarian Soils« by Dvoracsck—Klimes—Fejér. Hence on p. 484 of Number 4 of volume I of АGRÓKÉMIA ÉS TALAJTAN the right-side diagram belongs correctly to Figure 1. and the diagram on the left to Fig. 2.